

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2000-338847
(43)Date of publication of application : 08.12.2000

(51)Int.Cl.

G03H 1/26
G11B 7/00

(21) Application number : 11-150753

(71)Applicant : SONY CORP

(22) Date of filing : 28.05.1999

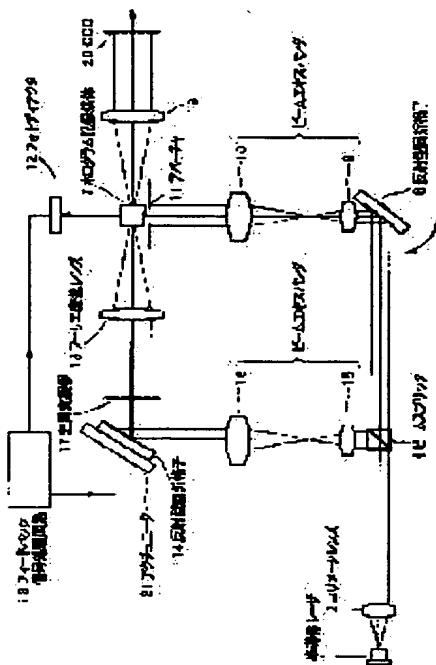
(72)Inventor : SUGANUMA HIROSHI

(54) HOLOGRAM RECORDING AND REPRODUCING DEVICE

(57) Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To obtain a hologram recording and reproducing device constituted so that a hologram can be recorded and reproduced by using a compact laser by canceling phase unconformity amount caused by the wavelength dispersion or the wavelength fluctuation of luminous flux emitted from a light source by angular phase unconformity produced by an angular phase unconformity means.

SOLUTION: Object light is diffracted by a reflection type diffraction grating 14 being the angular phase unconformity means and made incident on a spatial modulator 17 thereafter. The grating 14 diffracting the object light is mounted on an actuator 21 and it can be vibrated with a very small deflection angle. By the vibration of the grating 14, a reference light signal detected by a photodetector 12 is changed. Then, the signal detected by the photodetector 12 is transmitted to a feedback signal processing circuit 13 being a phase correction means. By the processing circuit 13, the actuator 21 is controlled according to the signal to be transmitted so that the grating 14 is positioned and the phase of the hologram is controlled.



*** NOTICES ***

JP0 and INPIT are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. **** shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

CLAIMS**[Claim(s)]**

[Claim 1] While irradiating a hologram recording medium with light flux from a light source as a reference beam, In hologram recording playback equipment which irradiates this hologram recording medium with light flux from this semiconductor laser as object light via a spatial modulation machine, and records an interference fringe of these reference beams and object light on this hologram recording medium, A hologram rec/play student device which makes it the feature to offset the amount of phase mismatching by wavelength dispersion or wavelength variation of light flux from the above-mentioned light source by angle phase mismatching which is provided with an angle phase mismatching means to produce angle phase mismatching, about light flux from the above-mentioned light source, and the above-mentioned angle phase mismatching means generates.

[Claim 2] The hologram rec/play student device according to claim 1 which makes it the feature to have had a diverging ray study element as an angle phase mismatching means.

[Claim 3] The hologram recording playback equipment according to claim 2 which makes it the feature to use a transmission type or a reflection type diffraction grating as a diverging ray study element used as an angle phase mismatching means.

[Claim 4] The hologram recording playback equipment according to claim 1 characterized by using a semiconductor laser as a light source.

[Claim 5] The hologram recording playback equipment according to claim 1 which makes it the feature to use angle multiplex recording as the multiplex recording method.

[Claim 6] A detection means to detect phase change of an interference fringe recorded as a hologram, The hologram recording playback equipment according to claim 1 which makes it the feature to amend this phase change according to phase change of an interference fringe which is provided with a phase correction means to perform phase correction based on phase change detected by this detection means, and is recorded on a hologram recording medium.

[Translation done.]

*** NOTICES ***

JPO and INPIT are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. **** shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

DETAILED DESCRIPTION

[Detailed Description of the Invention]**[0001]**

[Field of the Invention] This invention relates to hologram recording playback equipment.

[0002]

[Description of the Prior Art] Conventionally, a hologram recording medium is irradiated with a reference beam and the object light by which spatial modulation was carried out, and the hologram recording playback equipment which records the interference fringe of these reference beams and object light on this hologram recording medium is proposed. At the time of reproduction, the object light at the time of record is reproducible by irradiating with the same reference beam as the time of record the hologram recording medium with which the interference fringe was recorded.

[0003] **[Phase matching of a volume type hologram]** If the irradiation angles of a reference beam shift from the angle of the reference beam at the time of record at the time of reproduction of the volume type hologram using the Bragg diffraction, phase mismatching will arise and diffraction efficiency will fall. If this gap becomes large, the diffraction efficiency of a hologram will fall quickly and reproduction will become impossible.

[0004] Such angular selectivity is used for the angle multiplex recording of a hologram. That is, each hologram will be reproduced by only the reference beam of the same incidence angle as the time of record if a hologram is recorded using the reference beam of the different degree of incidence angle. Since it produces similarly to change of not only an angle but wavelength, the phase mismatching can also carry out multiplex recording of the hologram with wavelength.

[0005] Kogelnik about a thick hologram in case there is phase mismatching. Diffraction efficiency was searched for ("Couple-wave theory for thick hologram gratings" Bell Sys.Tech.J48-2909-2947 (1969)). When the space (kappa space) of a wave number vector shows, phase mismatching $\Delta\alpha$ according to change $\Delta\theta$ of the angle of a reference beam when according to it there is no absorption and the transmission type volume type phase hologram recorded by plane wave object light and the plane wave

reference beam is reproduced is a following formula as shown in drawing 3 and drawing 4.
 It is given by [several 1].

[0006]

[Equation 1]

$$\Delta\alpha = -2k \cdot \Delta\theta \cdot \sin\theta_B = -K \cdot \Delta\theta \quad \dots (1)$$

[0007]Here, the cycle lambda of the phase diffraction grating of the wavelength lambda, wave number $\kappa = 2\pi/\lambda$, refractive-index n_0 of a hologram recording medium, and a hologram, lattice wave several $K = \kappa \sin\theta_B$, and θ_B are bragg angles, and a following formula. It is given by [several 2].

[0008]

[Equation 2]

$$\theta_B = \sin^{-1} \left(\frac{\lambda}{2n_0 \Lambda} \right) \quad \dots (2)$$

[0009]Thickness [of a hologram] L and incidence angle θ_1 of a reference beam shall be given by $\theta_1 = -\theta_B + \Delta\theta$, and emitting angle θ_2 of object light shall be given by $\theta_2 = \theta_B + \Delta\theta$. The refractive index change of a phase hologram is made into n_1 , and it is a following formula about the coupling coefficient κ . It shall be given by [several 3].

[0010]

[Equation 3]

$$\kappa^2 = \left(\frac{\pi \cdot n_1}{\lambda} \right)^2 \cdot \frac{1}{\cos\theta_1 \cdot \cos\theta_2} \quad \dots (3)$$

[0011]The diffraction efficiency [as opposed to phase mismatching angle $\Delta\theta$ at this time] η is a following formula. It is given by [several 4].

[0012]

[Equation 4]

$$\eta = \frac{\kappa^2}{\kappa^2 + \left(\frac{\Delta\alpha}{2} \right)^2} = \frac{1}{1 + \left(\frac{K \cdot \Delta\theta}{2\kappa} \right)^2} \quad \dots (4)$$

[0013]Phase mismatching angle $\Delta\theta_{1/2}$ from which diffraction efficiency serves as half [of a peak] are following formulas. It is given by [several 5].

[0014]

[Equation 5]

$$\Delta\theta_{1/2} = \frac{2\kappa}{K} = \frac{\kappa\Lambda}{\pi} \quad \dots (5)$$

[0015]When there is phase mismatching by wavelength, phase mismatching deltaalpha is a following formula to wavelength variation deltalambda. It is given by [several 6].

[0016]

[Equation 6]

$$\Delta\alpha = -\frac{\pi}{\Lambda} \cdot \frac{\Delta\lambda}{n_0 \cdot \Lambda \cdot \cos\theta_B} \quad \dots (6)$$

[0017]Phase mismatching wavelength variation $\Delta\lambda_{1/2}$ from which diffraction efficiency serves as half [of a peak] are following formulas. It is given by [several 7].

[0018]

[Equation 7]

$$\Delta\lambda_{1/2} = \frac{2\kappa\Lambda}{\pi} \cdot n_0 \Lambda \cos\theta_B \quad \dots (7)$$

[0019]

[Problem(s) to be Solved by the Invention][Laser as a light source for holograms] Since it stated above, as laser used as the light source for the record reproduction of a hologram, what has a stable oscillation wavelength is desirable in a narrow-band. In carrying out multiplex recording as a volume type hologram especially, when a wavelength interval is wide, there is a possibility that a cross talk may arise. When an oscillation wavelength is changed, a Bragg condition is not satisfied, but diffraction efficiency falls remarkably, and there is a possibility that reproduction may be impossible.

[0020]Since a hologram records the interference fringe of two or more light flux, it is desirable to have the high coherence excellent in coherence as a light source. A hologram recording material has many which have low recording sensitivity. Therefore, also in order to make influence of disturbance light hard to be influenced, as a light source, high-output laser is advantageous.

[0021]Since the contrast of an interference fringe falls by the phase shift between that coherent length is short and the mode, the laser which is carrying out the multimode oscillation is not suitable for the record reproduction of a hologram. Hologram recording materials, such as a photorefractive crystal and a photopolymer, have many which have sensitivity high to short wavelength light.

[0022]From such a thing, the second harmonic of argon ion laser or a neodium YAG laser, etc. have been used as a light source in conventional hologram recording playback equipment.

[0023]Although considering a size, a maintenance, a price, etc. it is desirable as a practical device to use a semiconductor laser as a light source, when it is going to use a semiconductor laser for the record reproduction of a volume type hologram, there are many problems with still difficult solution.

[0024]That is because the wavelength selectivity of a volume type hologram is very high in the first place. For example, a refractive index to an ordinary ray by the second harmonic of

a neodium YAG laser with a wavelength of 532 nm into the iron dope lithium-niobate crystal (it is considered as refractive-index-fluctuations $n_1 = 10^{-5}$) of about 2.2. The case where a hologram is recorded by arrangement ($\theta_1, \theta_2 = 45$ degree) that a reference beam and object light intersect perpendicularly is considered. At this time [Several 7] ** et al., and phase mismatching wavelength $\Delta\lambda_{1/2}$ are set to about 2 pm(s) ($= 2 \times 10^{-6}$ μm).

[0025] Since gain width of a semiconductor laser is wide, its oscillation line width is wide. Therefore, it is easy to carry out a multimode oscillation, and an oscillation wavelength is also changed easily. Now with the GaAlAs system semiconductor laser used for playback of "a compact disk (CD)" etc. When the single mode oscillation is being carried out, about 0.1 nm of wavelength variation produces at least about 0.1 pm of spectral band width by the mode hop by the wavelength variation and returned light of about [0.3 nm/degree] to temperature. Therefore, in order to obtain the stable single mode oscillation of considering it as the device of the device structure of a distributed feedback type, a Bragg reflection return type, etc., and an external resonator type for mode-stabilizing etc., various techniques were used, but it was difficult to use a semiconductor laser as a light source for hologram recording.

[0026] There is a problem of the wavelength of a semiconductor laser and the sensitization wavelength of a hologram recording material stated [second] also to the point. Although the red of not less than 600 nm has been conventionally considered to be a limit, in recent years, a multiplex quantum well (MQW) InGaN semiconductor laser attains the room temperature continuous oscillation of thousands of hours on the wavelength of nearly 400 nm, and utilization is [the wavelength of a semiconductor laser] in prospect. On the other hand, as for the recording material of the hologram, research of material with high sensitivity is done to long wavelength. For example, having sensitivity to the wavelength of the visible range where Fe:Ce:LiNbO_3 , Rh:LiNbO_3 , etc. are comparatively long also as a photorefractive crystal is known. In the photorefractive crystal which has sensitivity to two-wave record of Pr:LiNbO_3 , Fe:Mn:LiNbO_3 , etc., the light for sensitization, Although it must be short wavelength, since there is no necessity of being a coherent laser beam, a xenon lamp and LED can be used and red wavelength may be sufficient as the laser for record from infrared rays. A high increase in power of a semiconductor laser in recent years is remarkable, and some low sensitivity cannot be compensated with an output, either. Therefore, the possibility of solution is in sight about the wavelength of a recording material and laser in recent years.

[0027] [A diverging ray study element and AKUROMA tick amendment] Generally, the refractive index of an optical material changes with wavelength. The characteristic of various optical elements changes with the wavelength to be used. For example, it has been used for prism and a diffraction grating decomposing the spectrum of light since Newton. However, inconvenience arises for many uses. For example, in the case of a lens, if

wavelength differs, focal distances will differ. This is what is called a chromatic aberration.

- In order to amend this, the achromatic lens (AKUROMA tick lens) which combined the convex lens produced with the material in which distributions differ, and the concave lens has been used. In recent years, the AKUROMA tick lens which combined the holographic lens of the convex with the usual convex lens is realized using a diffracted type lens having negative distribution.

[0028]When measuring the diffraction efficiency of a volume type hologram, reproducing using another laser beam of different long wavelength from a recording wavelength is often performed in the experiment so that the recorded hologram may not be destroyed. This is because advance of the destruction at the time of reproduction will decrease remarkably if wavelength with low recording sensitivity is used. What is necessary is to generate the angle phase mismatching of an inverse code and just to make each other offset mutually in equivalent weight, in order to amend the phase mismatching produced by wavelength variation (cancellation).

[0029]This is explained using drawing 5. The lattice vector of the hologram recorded by reference beam κ_{R1} (OA) and object light κ_{S1} (OC) is κ_1 (CA). Extension wire parallel to perpendicular bisector alumnus of κ_1 is drawn from the peak A of the wave number vector of a reference beam, and an intersection with the circle of the kappa space of wave number κ_2 and κ_3 is set to D and G, respectively. The intersections F and I are similarly obtained about object light. Beam-of-light κ_{R2} which makes OD a wave number vector is made into a reference beam, and if beam-of-light κ_{R2} which makes OF a wave number vector is made into object light and a hologram is recorded, the lattice vector will serve as κ_2 (FD). Similarly, the hologram of lattice vector κ_3 (IG) is obtained by reference beam κ_{R3} (OG) and object light κ_{S3} (OI).

[0030]At this time, the quadrangle ACFD and the quadrangle DFIG are parallelograms and the vectors CA, FD, and IG are equal vectors altogether. Therefore, reference beam κ_{R1} , object light κ_{S1} and reference beam κ_{R2} , and object light κ_{S2} , All of lattice vector κ_1 of the hologram recorded by reference beam κ_{R3} and object light κ_{S3} , κ_2 , and κ_3 are equal vectors. Therefore, the same hologram is recorded or reproduced even if it uses combining which reference beam and object light. This is because the direction of a reference beam vector is changing so that it may be amended, even if the wavelength lambda of a reference beam ($\lambda=2\pi/\kappa$) changes.

[0031]In drawing 5, although the wave number vector of each wavelength is expressed on the concentric circle, as shown in drawing 6, it can also rewrite so that the lattice vector of each wavelength may be in agreement. That is, in this drawing 6, when reproducing the lattice vector κ recorded by reference beam κ_{R0} and κ_{S0} on different

wavelength, or when there is wavelength variation in the middle of record, a reference beam changes to κ'_{R1} ($\Delta\lambda < 0$) or κ'_{R2} ($\Delta\lambda < 0$). By this, the phase mismatching $\Delta\alpha$ and $\Delta\beta$ occurs, respectively. Then, if the direction of the wave number vector of a reference beam is changed and it is considered as κ_{R1} ($\Delta\lambda < 0$) or κ_{R2} ($\Delta\lambda < 0$), respectively, a lattice vector and phase matching can be taken.

[0032] In measurement of the diffraction efficiency using this technique, both laser used for record and reproduction was harmonics of a gas laser with stable wavelength, or solid state laser. Combination of having recorded by argon laser (488 nm) and reproducing by helium neon laser (633 nm) was used well. However, if it is going to carry out multiplex recording of the hologram in order to record information, an angle or wavelength must be independently changed to two waves, respectively. Since the actual object light using a spatial modulation machine has not a plane wave but the breadth of an angle and phase matching can be taken about no beams of light of object light when another, greatly different wavelength is used, a part of recorded information is reproduced.

[0033] Therefore, it is difficult to usually reproduce the hologram which recorded information on different wavelength. Then, although what is recorded on a thin recording material as an image hologram is proposed, Since a spherical aberration will arise with the recording medium of a hologram if it records as an image hologram, The pixel size of a spatial modulation machine becomes large, Since a recording medium becomes thin. . There were problems, like storage capacity is restricted. (Ernest Chuang and Demetri Psaltis, "Storage of 1000 holograms with use of a dual-wavelength method," Applied Optics, Vol.) 36, No.32, pp.8445-8454.

[0034] [Phase locking at the time of hologram recording] By disturbance, accumulation of a refractive index change, etc., the spatial phase of the interference fringe of the hologram written in later may shift at the time of record of a hologram. If a spatial phase shifts, the recording rate of a hologram will fall. If the phase of spatial frequency shifts $\pi/2$, the hologram written in before will be eliminated.

[0035] In order to solve this, Active locking. Applying is proposed ("Avoiding hologram bending in photorefractive crystals," A.A.freschi et al.Optics Letters, Vol.21, No.). 2, pp.152,1996, "Incremental holographic recording in lithium niobate with active phase locking," K.Peithmann et al. Optics. Letters, Vol.23, No.24, pp.1927, 1998. Light path length was minutely changed in the direction which mounts a mirror to a piezo-electric element, and gives a minute shock here, and the detected diffracted light increases, and record of a stable hologram is realized by controlling the phase of the interference fringe of the hologram recorded.

[0036] This invention is proposed in view of the above-mentioned actual condition, and tends to provide the hologram recording playback equipment made as [perform / record reproduction of a hologram] using small laser, such as a semiconductor laser with wide

wavelength variation and spectral band width by temperature or mode hop.

[0037]

[Means for Solving the Problem]While this invention irradiates a hologram recording medium with light flux from a light source as a reference beam, In hologram recording playback equipment which irradiates this hologram recording medium with light flux from this semiconductor laser as object light via a spatial modulation machine, and records an interference fringe of these reference beams and object light on this hologram recording medium, An angle phase mismatching means to produce angle phase mismatching is formed about light flux from a light source, and it makes to offset the amount of phase mismatching by wavelength dispersion or wavelength variation of light flux from a light source into the feature by angle phase mismatching which an angle phase mismatching means generates.

[0038]

[Embodiment of the Invention]Hereafter, an embodiment of the invention is described, referring to drawings.

[0039]While the hologram recording playback equipment concerning this invention irradiates a hologram recording medium with the light flux from this semiconductor laser as a reference beam, using a semiconductor laser as a light source, This hologram recording medium is irradiated with the light flux from this semiconductor laser as object light via a spatial modulation machine, and the interference fringe of these reference beams and object light is recorded on this hologram recording medium. And the hologram recording playback equipment concerning this invention performs good multiplex recording by avoiding the influence by oscillation wavelength change of a semiconductor laser.

[0040]In order to amend wavelength variation, such as a semiconductor laser, at an angle, it is possible to deflect the angle according to the wavelength which detected wavelength by the wavelength detecting means of a spectroscope etc., and was detected using angle deflection means, such as a galvanomirror, an electrooptic deflector, an acoustooptic deflector. However, since a device becomes remarkably complicated, this is not practical. A response is difficult when wavelength variation happens at high speed.

[0041]Therefore, in this invention, not active amendment but a passive compensation means is desirable. Then, in this invention, the passive compensation means for wavelength variation is given first.

[0042][The principle of phase matching amendment] What is necessary is just to use an optical element with the angular dispersion which generates the angle phase mismatching of reverse numerals in a quantity equal to the phase mismatching produced by wavelength variation, in order to perform passive amendment. As such an optical element, it is possible to use a diffraction grating.

[0043]The wavelength dispersion of a diffraction grating is a following formula to the primary diffracted light. It is given by [several 8].

[0044]

[Equation 8]

$$\frac{d\theta}{d\lambda} = \frac{1}{d \cdot \cos \theta} = \frac{1}{\sqrt{d^2 - \lambda^2}} \quad \dots (8)$$

[0045] Here, as for d, an angle of diffraction and lambda of theta are [round term of a diffraction grating] wavelength. In order to obtain efficiency high as a diffraction grating, it is desirable to use triangular waveform-like blazed grating. Here, although the primary diffracted light was considered, the high order diffracted light may be used. However, since many of blazed gratings with high diffraction efficiency use primary light, they are discussed about primary light below.

[0046] It is the following in order to amend phase matching to wavelength variation deltalambda, if phase mismatching of a hologram which produces phase mismatching of a hologram produced by wavelength variation of laser by deltaalphalambda and angle change of a reference beam is set to deltaalphatheta. [Several 9] must be filled.

[0047]

[Equation 9]

$$\Delta\alpha_\lambda + \Delta\alpha_\theta = \Delta\alpha_\lambda + \frac{\Delta\alpha_\theta}{\Delta\theta} \cdot \frac{\Delta\theta}{\Delta\lambda} \cdot \Delta\lambda = 0 \quad \dots (9)$$

[0048] To this [Several 1] **[Several 2] **[Several 6] **[Several 8] is substituted and it is the following. [Several 10] is obtained.

[0049]

[Equation 10]

$$d = 4 \cdot n_0 \cdot \sin \theta_s \cdot \frac{\Lambda^2}{\lambda} = 2 \cdot n_0 \cdot \Lambda \quad \dots (10)$$

[0050] A refractive index to an ordinary ray on the above-mentioned wavelength of 532 nm into the iron dope lithium-niobate crystal of about 2.2. If it calculates about the case where a hologram is recorded by arrangement ($\theta_1, \theta_2 = 45$ degree) that a reference beam and object light intersect perpendicularly, a round term of the diffraction grating for amendment will be 1.65 micrometers, i.e., about 600 pitches/mm. This is a diffraction grating of an available pitch easily as a commercial reflection type diffraction grating.

[0051] [An example of amendment] Hologram recording playback equipment concerning this invention is hologram recording playback equipment using a diffraction grating which fulfills the above conditions, as shown in drawing 1, is provided with the semiconductor laser 1 oscillated by a single mode as a light source, and is constituted. Emitted light from the semiconductor laser 1 is made with a parallel pencil with the collimating lens 2, and enters into the reflection type diffraction grating 3. Primary light diffracted by this reflection type diffraction grating 3 enters into the beam splitter 4, and branches to a reference beam and object light. A reference beam and object light enter into the hologram recording medium 7, after being reflected by the mirrors 5 and 6, respectively. An interference fringe of a reference beam and object light is recorded on the hologram recording medium 7 as a

hologram. Here, it is put on the semiconductor laser 1 side rather than a turning point of object light **** and a reference beam, and the reflection type diffraction grating 3 of an optical path of this object light and a reference beam is mutually symmetrical, and light path length's is equal.

[0052]If the hologram recording medium 7 is irradiated with either these reference beams or the object light at the time of reproduction, a beam of another side will be reproduced.

[0053]Here, change of wavelength of emitted light from the semiconductor laser 1 will change the direction of the diffracted light by a diffraction grating. Therefore, the degree of incidence angle of object light to the hologram recording medium 7 and a reference beam changes. A pitch of a diffraction grating. If designed fill [several 9], a lattice vector of a hologram recorded or reproduced to wavelength variation is eternal. Therefore, passive amendment is realized to wavelength variation of emitted light from the semiconductor laser 1.

[0054]As an optical element which generates angular dispersion according to wavelength, prism etc. are possible also for using other things. However, it is most practical to use a diffraction grating. Compared with a dispersive device using refraction of prism etc., it is because the distribution of diffraction is far larger. However, in the purpose for performing precise control etc., elements, such as prism, may be used and it may be used combining plurality.

[0055]In performing multiplex recording of a hologram, as it shows in drawing 2, in using the spatial modulation machine 17 as an object and adopting an angle multiplex recording method, in order to change an angle of a reference beam, it uses a beam deflection means of an acoustooptic deflector, a galvanomirror, etc.

[0056]In this hologram recording playback equipment, emitted light from the semiconductor laser 1 oscillated by a single mode is made into a parallel pencil with the collimating lens 2, and branches to a reference beam and object light by the beam splitter 4. It diffracts by the reflection type diffraction grating 8 in which a rolling mechanism was provided, and a reference beam which penetrated the beam splitter 4 has a beam diameter expanded by beam expander with which the primary diffracted light consists of the two condensers 9 and 10. A reference beam which passed through a beam expander has an excessive portion of a peripheral side shaded by the aperture 11, and enters into the hologram recording medium 7. Here, the reflection type diffraction grating 8 is rotated using a rolling mechanism, the direction of a reference beam is changed, and if a reference beam of the different degree of incidence angle for every hologram is used, angle multiplex recording will be made. A reference beam which penetrated the hologram recording medium 7 is received by the photodetector 12 used as a detection means.

[0057]On the other hand, object light reflected by the beam splitter 4 enters into the spatial modulation machine 17, after diffracting by the reflection type diffraction grating 14 which a beam diameter is expanded with a beam expander which consists of the two condensers 15 and 16, and serves as an angle phase mismatching means. The Fourier transform of the

object light which penetrated the spatial modulation machine 17 is carried out by Fourier transformer lens 18, and it enters into the hologram recording medium 7. In this hologram recording medium 7, an interference fringe of a reference beam and object light is recorded as a hologram.

[0058]The reflection type diffraction grating 14 which makes object light diffract is mounted by the actuator 21, and can be vibrated by a minute deflection angle. By vibration of this reflection type diffraction grating 14, change arises to a reference beam signal detected by the photodetector 12. A detecting signal of the photodetector 12 is sent to the feedback signal processing circuit 13 used as a phase correction means. According to a signal sent from the photodetector 12, the feedback signal processing circuit 13 controls the actuator 21, positions the reflection type diffraction grating 14, and controls a phase of a hologram.

[0059]It irradiates only with a reference beam at the time of reproduction, and it reproduces object light at the time of record. Thus, reproduced object light is received by light-receiving array elements, such as the solid state image pickup device (CCD) 20, via the condenser 19.

[0060]By the way, in this hologram recording playback equipment, it is necessary to double with a device, and to expand or reduce a beam diameter. A product of beam-of-light quantity and a beam-of-light angle is more nearly constant than a principle of RAGURANJIE helmholtz. Therefore, if a beam diameter changes, a deflecting angle of a beam will also change. Therefore, it is necessary using a respectively separate diffraction grating to design each pitch independently to object light and a reference beam. If above-mentioned conditions are fulfilled to each light flux also in this case, phase matching can be similarly amended to wavelength variation.

[0061]Angle breadth of object light arises in hologram recording playback equipment as shown in drawing 2. In hologram recording playback equipment shown in drawing 2, a hologram is recorded as a Fourier hologram using Fourier transformer lens 18. Also when diffraction by a pixel of this spatial modulation machine 17 arises by using the spatial modulation machine 17, object light has breadth. Also when using a random phase plate etc. for object irradiation light in order to extend a spatial spectrum and to use a dynamic range of a recording material effectively, angular distribution of object light will spread.

[0062]In a actual design, it is necessary to take into consideration these factors and the wavelength variation range of a semiconductor laser which is a light source. The aforementioned paper. (Ernest Chuang and Demetri Psaltis, "Storage of 1000 holograms with use of a dual-wavelength method," AppliedOptics, Vol.) When a hologram recorded using a reference beam with a wavelength of 488 nm is reproduced by a reference beam with a wavelength of 633 nm as shown by 36, No.32, and pp.8445-8454, a part of object light is reproduced. However, wavelength variation of a semiconductor laser mainly considered by this invention is as minute as about several nanometers, and amendment is possible enough.

[0063]If a spatial phase shifts at the time of record when a lattice vector of a hologram, i.e.,

spatial frequency of an interference fringe, is the same, a recording rate of a hologram will fall. If a phase of spatial frequency shifts $\pi/2$, a hologram written in before will be eliminated. Then, the above-mentioned paper ("Avoiding hologram bending in photorefractive crystals," A.A.freschi et al. Optics Letters, Vol.21, No.) 2, pp.152,1996, "Incremental holographic recording in lithium niobate with active phase locking," K.Peithmann. If stated to et al. Optics Letters, Vol.23, No.24, pp.1927, and 1998, positioning (locking) of a diffraction grating using a feedback signal and an actuator to a phase is effective similarly.

[0064]A piezo-electric element can also be used as a device for positioning a diffraction grating. However, since high tension is needed, there is a practical problem in a drive of a piezo-electric element. It is also possible to use a phase modulation machine using an electrooptics crystal. However, an electrooptics crystal needs high tension for a drive like a piezo-electric element, and further, since it needs to condense a beam to an aperture, it causes complication of an optical system. Then, a voice coil motor can also be used instead of a piezo-electric element. A voice coil motor is a low price and does not need high tension for a drive as used for a pickup of an optical disk reproducing device, etc. It is proved that even a level of subangstrom can control by servo control. In order to control a phase of bias components of a low frequency wave, a liquid crystal cell which does not need high tension similarly can be combined with a voice coil motor, and can also be used.

[0065][A scope of this invention] So far, an angle multiplex recording method is described as a record multiplex mode of a hologram. However, it is also possible to use the technique of this invention for other multiplex modes, for example, a phase code, a shift, a fractal, peri SUTORO Fick, a speckle, etc. Although there are many types of holograms, the technique of this invention is applicable to a general volume type hologram.

[0066]Although an above-mentioned embodiment has described an iron dope lithium-niobate crystal as a hologram recording material, they may be hologram recording materials, such as other photorefractive crystals and a photopolymer. It is also possible to apply, when stabilizing treatment, such as heat fusing, electric field fixing, and chemical preparation, may be performed to a hologram recording medium and it uses techniques, such as two-photon absorption and two-wave sensitization record, for it.

[0067]Although it mainly assumes using a semiconductor laser as a light source in this invention, The technique of this invention is also applicable to other laser, such as gas lasers, such as solid state laser, such as Ti:Saphire and Nd:YAG, and Ar laser, and dye laser, or harmonics of those. As a semiconductor laser, height of sensitivity of a recording material to especially an InGaN system semiconductor laser is effective.

[0068]And a hologram by a recording and reproducing device or a method of this invention has various application uses, such as not only a memory but optical computing, associative memory, image display, an image output device, an interferometer, a metering device, etc.

[0069]

[Effect of the Invention]As mentioned above, while this invention irradiates a hologram

recording medium with the light flux from a light source as a reference beam. In the hologram recording playback equipment which irradiates this hologram recording medium with the light flux from this semiconductor laser as object light via a spatial modulation machine, and records the interference fringe of these reference beams and object light on this hologram recording medium. An angle phase mismatching means to produce angle phase mismatching is formed about the light flux from a light source, and the amount of phase mismatching by the wavelength dispersion or wavelength variation of light flux from a light source is offset by the angle phase mismatching which an angle phase mismatching means generates.

[0070]That is, this invention can provide the hologram recording playback equipment made as [perform / good / record reproduction of a hologram] using small laser, such as a semiconductor laser with wide wavelength variation and spectral band width by temperature or mode hop.

[0071]Since a life of operation is long and a semiconductor laser is reliable, it can raise the life and reliability of a device and can be realized with the easy composition which adds dispersive devices, such as a diffraction grating. Manufacture cost can be lowered as compared with the case where gas laser and solid state laser are used.

[Translation done.]

*** NOTICES ***

JP0 and INPIT are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. **** shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

DESCRIPTION OF DRAWINGS

[Brief Description of the Drawings]

[Drawing 1]It is a side view showing the theoretic composition of the hologram recording playback equipment concerning this invention.

[Drawing 2]It is a side view showing the composition of the above-mentioned hologram recording playback equipment.

[Drawing 3]It is a graph which shows the state of the angle phase mismatching produced at the time of hologram reproduction.

[Drawing 4]It is a graph which shows the state of the wave degree phase mismatching produced at the time of hologram reproduction.

[Drawing 5]It is a graph which shows the group of the reference beam and object light which form an equal lattice vector to different wavelength.

[Drawing 6]It is a graph which coincides the lattice vector of each wavelength and shows the group of the reference beam and object light which form an equal lattice vector to different wavelength.

[Description of Notations]

1 A semiconductor laser, 7 hologram recording media, and 3, 8 and 14 A reflection type diffraction grating and 12 A photodetector, 13 feedback-signal processing circuit

[Translation done.]

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11)特許出願公開番号
特開2000-338847
(P2000-338847A)

(43)公開日 平成12年12月8日(2000.12.8)

(51) Int.Cl. 7 識別記号
G 0 3 H 1/26
G 1 1 B 7/00 6 5 1

F I テ-マコ-ト(参考)
G 0 3 H 1/26 2 K 0 0 8
G 1 1 B 7/00 6 5 1 5 D 0 9 0

宿本第 2 版 (1992 版) 第 2 版次影印 2003 年 6 月 1 日

(21)出願番号 特願平11-150753
(22)出願日 平成11年5月28日(1999.5.28)

(71) 出願人 000002185
ソニー株式会社
東京都品川区北品川6丁目7番35号

(72) 発明者 菅沼 洋
東京都品川区北品川6丁目7番35号 ソニ
一株式会社内

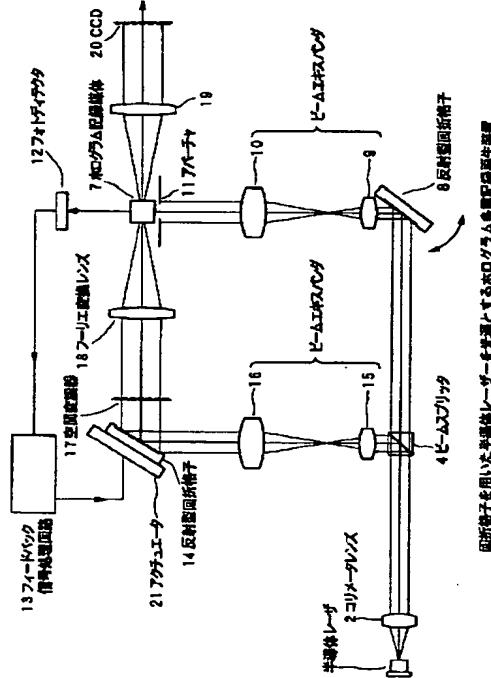
(74) 代理人 100067736
弁理士 小池 晃 (外2名)
F ターム(参考) 2K008 BB04 BB06 CC01 CC03 EE01
FF17 HH01 HH18 HH19 HH26
HH28
5D090 AA10 BB16 BB18 CC01 CC04
CC16 DD03 DD05 KK09 KK12
KK14 LL02 LL03

(54) 【発明の名称】 ホログラム記録再生装置

(57) 【要約】

【課題】 半導体レーザを光源として、高効率かつ低コストトーケノイズの多重ホログラムを記録もしくは再生することを可能にする。

【解決手段】 スペクトル幅が広がりを持つ、もしくは波長変動を伴う光源1に対して、回折格子8、14などの分散素子を用いて、広域の波長で等しい大きさの格子ベクトルを持つように角度分散を与え、ホログラムを多重記録もしくは再生する。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 光源からの光束をホログラム記録媒体に参照光として照射するとともに、該半導体レーザからの光束を空間変調器を介して該ホログラム記録媒体に物体光として照射し、これら参照光及び物体光の干渉縞を該ホログラム記録媒体に記録するホログラム記録再生装置において、

上記光源からの光束について角度位相不整合を生じさせる角度位相不整合手段を備え、

上記角度位相不整合手段が発生させる角度位相不整合により、上記光源からの光束の波長分散もしくは波長変動による位相不整合量を相殺することを特長とするホログラム記録再生装置。

【請求項2】 角度位相不整合手段として、分散光学素子を備えたことを特長とする請求項1記載のホログラム記録再生装置。

【請求項3】 角度位相不整合手段となる分散光学素子として、透過型もしくは反射型回折格子を用いることを特長とする請求項2記載のホログラム記録再生装置。

【請求項4】 光源として、半導体レーザを用いることを特徴とする請求項1記載のホログラム記録再生装置。

【請求項5】 多重記録方法として、角度多重記録を用いることを特長とする請求項1記載のホログラム記録再生装置。

【請求項6】 ホログラムとして記録される干渉縞の位相変動を検出する検出手段と、この検出手段により検出された位相変動に基づいて位相補正を行う位相補正手段とを備え、

ホログラム記録媒体に記録される干渉縞の位相変動に応じて該位相変動を補正することを特長とする請求項1記載のホログラム記録再生装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、ホログラム記録再生*

$$\Delta\alpha = -2k \cdot \Delta\theta \cdot \sin\theta_B = -K \cdot \Delta\theta$$

… (1)

【0007】 ここで、波長 λ 、波数 $\kappa = 2\pi/\lambda$ 、ホログラム記録媒体の屈折率 n_0 、ホログラムの位相回折格子の周期 Λ 、格子波数 $K = \kappa \sin\theta_B$ 、 θ_B はプラグ角

$$\theta_B = \sin^{-1}\left(\frac{\lambda}{2n_0\Lambda}\right)$$

※で、次式【数2】で与えられる。

【0008】

【数2】

… (2)

【0009】 ホログラムの厚み l 、参照光の入射角 θ_1 を、 $\theta_1 = -\theta_B + \Delta\theta$ で与えられるものとし、物体光の出射角 θ_2 を、 $\theta_2 = \theta_B + \Delta\theta$ で与えられるものとする。位相ホログラムの屈折率変化を n_1 とし、結合係数 ★

$$\kappa^2 = \left(\frac{\pi \cdot n_1}{\lambda}\right)^2 \cdot \frac{1}{\cos\theta_1 \cdot \cos\theta_2}$$

★ κ を次式【数3】で与えられるものとする。

【0010】

【数3】

… (3)

【0011】 このとき、位相不整合角 $\Delta\theta$ に対する回折効率 η は、次式【数4】で与えられる。

* 生装置に関する。

【0002】

【従来の技術】 従来、参照光と、空間変調された物体光とをホログラム記録媒体に照射し、これら参照光及び物体光の干渉縞を該ホログラム記録媒体に記録するホログラム記録再生装置が提案されている。再生時においては、干渉縞が記録されたホログラム記録媒体に記録時と同様の参照光を照射することにより、記録時における物体光を再現することができる。

【0003】 【体積型ホログラムの位相整合】 プラグ回折を利用して体積型ホログラムの再生時においては、参照光の照射角度が記録時の参照光の角度からずれると、位相不整合が生じ、回折効率が低下する。このずれが大きくなると、ホログラムの回折効率は急速に低下し、再生が不可能になる。

【0004】 ホログラムの角度多重記録は、このような角度選択性を利用したものである。すなわち、異なる入射角度の参照光を用いてホログラムを記録すれば、それぞれのホログラムは記録時と同じ入射角の参照光によってのみ再生される。また、位相不整合は、角度のみならず波長の変化に対しても同様に生じるため、波長によりホログラムを多重記録することも可能である。

【0005】 Kogelnikは、位相不整合がある場合の厚いホログラムについて、回折効率を求めた ("Couple-wave theory for thick hologram gratings," Bell Sys. Tech. J. 48, 2909-2947 (1969))。それによれば、吸収がない場合には、平面波物体光と平面波参照光とにより記録された透過型体積型位相ホログラムを再生する時、参照光の角度の変化 $\Delta\theta$ による位相不整合 $\Delta\alpha$ は、波数ベクトルの空間 (κ 一空間) で示すと、図3及び図4に示すように、次式【数1】で与えられる。

【0006】

【数1】

※で、次式【数2】で与えられる。

【0008】

【数2】

… (2)

【0012】

【数4】

$$\eta = \frac{\kappa^2}{\kappa^2 + \left(\frac{\Delta\alpha}{2}\right)^2} = \frac{1}{1 + \left(\frac{K \cdot \Delta\theta}{2\kappa}\right)^2} \quad \cdots (4)$$

【0013】回折効率がピークの二分の一となる位相不整合角 $\Delta\theta_{1/2}$ は、次式【数5】で与えられる。 * 【数5】

$$\Delta\theta_{1/2} = \frac{2\kappa}{K} = \frac{\kappa\Lambda}{\pi} \quad \cdots (5)$$

【0015】波長による位相不整合がある場合は、波長変動 $\Delta\lambda$ に対して、位相不整合 $\Delta\alpha$ は、次式【数6】で与えられる。 * 【数6】

$$\Delta\alpha = -\frac{\pi}{\Lambda} \cdot \frac{\Delta\lambda}{n_0 \cdot \Lambda \cdot \cos\theta_s} \quad \cdots (6)$$

【0017】また、回折効率がピークの二分の一となる位相不整合波長変化 $\Delta\lambda_{1/2}$ は、次式【数7】で与えられる。 ★

$$\Delta\lambda_{1/2} = \frac{2\kappa\Lambda}{\pi} \cdot n_0 \Lambda \cos\theta_s \quad \cdots (7)$$

【0019】

【発明が解決しようとする課題】【ホログラム用光源としてのレーザ】以上述べたことから、ホログラムの記録再生用の光源となるレーザとしては、狭帯域で発振波長が安定なものが望ましい。特に、体積型ホログラムとして多重記録をする場合には、波長幅が広いとクロストークが生じる虞れがある。また、発振波長が変動すると、プラッギ条件が成立せず、回折効率が著しく低下し、再生ができない虞れがある。

【0020】また、ホログラムは複数の光束の干渉縞を記録するものであるから、光源としては、可干渉性に優れた高いコヒーレンスを有することが望ましい。さらに、ホログラム記録材料は、記録感度が低いものが多い。したがって、外乱光の影響を受けにくくするためにも、光源としては高出力のレーザが有利である。

【0021】また、多モード発振しているレーザは、コヒーレント長が短いこと、モード間の位相ずれにより干渉縞のコントラストが低下することから、ホログラムの記録再生に好適ではない。さらに、フォトリフラクティブ結晶やフォトポリマーなどのホログラム記録材料は、短波長光に対して感度が高いものが多い。

【0022】このようなことから、従来のホログラム記録再生装置における光源としては、アルゴンイオンレーザやネオジウムヤグレーザの第二高調波などが用いられてきた。

【0023】実用的な装置としては、大きさやメンテナンス、価格などを考えると、光源として半導体レーザを用いることが望ましいが、半導体レーザを体積型ホログラムの記録再生に用いようとすると、依然として解決困難な問題が多い。

【0024】それは、第一に、体積型ホログラムの波長

* 【0014】 * 【数5】

★

20 選択性が極めて高いからである。例えば、波長532 nmのネオジウムヤグレーザの第二高調波で、屈折率が常光線に対して約2.2の鉄ドープニオブ酸リチウム結晶(屈折率変動 $n_1 = 10^{-5}$ とする)に、参照光と物体光が直交するような配置($\theta_1, \theta_2 = 45^\circ$)でホログラムを記録する場合を考える。このとき、【数7】から、位相不整合波長 $\Delta\lambda_{1/2}$ は、約2 pm($= 2 \times 10^{-6} \mu m$)となる。

【0025】半導体レーザはゲイン幅が広いため、発振線幅が広い。したがって、多モード発振しやすく、発振波長も変動しやすい。現在、「コンパクトディスク(CD)」などの再生に用いられているGaAlAs系半導体レーザでは、単一モード発振している場合、スペクトル幅は0.1 pm程度でも、0.3 nm/C°程度の温度に対する波長変動や戻り光によるモードホップにより、0.1 nm程度の波長変動が生じる。そのため、モード安定化のために、分布帰還型やプラッギ反射帰還型などのデバイス構造の工夫や、外部共振器型となるなど、安定な単一モード発振を得るために、様々な手法が用いられているが、ホログラム記録用の光源として半導体レーザを用いることは困難だった。

【0026】また、第二に、先にも述べた半導体レーザの波長とホログラム記録材料の感光波長の問題がある。半導体レーザの波長は、従来、600 nm以上の赤色が限界と考えられてきたが、近年では多重量子井戸(MQW)InGaN半導体レーザが、波長400 nm近辺で数千時間の室温連続発振を達成し、実用化への目処がつきつつある。一方、ホログラムの記録材料も、長波長に感度が高い材料の研究が行われている。例えば、フォトリフラクティブ結晶としても、Fe:Ce:LiNbO₃や、Rh:LiNbO₃などは、比較的長い可視域の波

長に対して感度を有することが知られている。Pr:LiNbO₃、Fe:Mn:LiNbO₃などの二波長記録に対して感度を持つフォトリフレクティブ結晶において、増感用の光は、短波長でなければならないがコレントなレーザ光である必要が無いので、セノンランプやLEDを使うことができ、記録用のレーザは赤外から赤の波長でも良い。また、近年の半導体レーザの高出力化は目覚しく、多少の低感度は出力で補うことも不可能ではない。したがって、記録材料とレーザの波長については、近年、解決の可能性が見えてきてはいる。

【0027】【分散光学素子とアクロマティック補正】一般に、光学材料の屈折率は、波長によって異なる。また、様々な光学素子の特性は、使用する波長によって変化する。例えば、プリズムや回折格子は、光のスペクトルを分解することに、ニュートン以来用いられてきた。しかし、多くの用途では不都合が生じる。例えば、レンズの場合、波長が異なれば焦点距離が異なってしまう。これがいわゆる色収差である。これを補正するために、分散の異なる材料で作製した凸レンズと凹レンズとを組み合わせた色消しレンズ（アクロマティックレンズ）が用いられてきた。近年では回折型レンズが負の分散を持つことを利用して、通常の凸レンズに凸のホログラフィックレンズを組み合わせたアクロマティックレンズが実現されている。

【0028】また、体積型ホログラムの回折効率を測定する際には、記録されたホログラムが破壊されないように、記録波長とは異なる長波長の別のレーザ光を用いて再生することが実験ではよく行われている。これは、記録感度が低い波長を用いれば、再生時の破壊の進行が著しく減少するからである。波長変動によって生じる位相不整合を補正するためには、等量で逆符号の角度位相不整合を発生させて、お互いに相殺（キャンセル）させればよい。

【0029】これを、図5を用いて説明する。参照光 κ_{R1} （OA）と物体光 κ_{S1} （OC）によって記録されるホログラムの格子ベクトルは K_1 （CA）である。 K_1 の垂直二等分線OBと平行な延長線を参照光の波数ベクトルの頂点Aから引き、波数 κ_2 、 κ_3 の κ 一空間の円との交点をそれぞれD、Gとする。物体光についても同様にして、交点F、Iを得る。ODを波数ベクトルとする光線 κ_{R2} を参照光とし、OFを波数ベクトルとする光線 κ_{R2} を物体光としホログラムを記録すれば、その格子ベクトルは、 K_2 （FD）となる。同様に、参照光 κ_{R3} （OG）と物体光 κ_{S3} （OI）により格子ベクトル K_3 （IG）のホログラムを得る。

【0030】このとき、四角形ACFDと四角形DFI Gは平行四辺形であり、ベクトルCA、FD、IGは全て等しいベクトルである。したがって、参照光 κ_{R1} と物体光 κ_{S1} 、参照光 κ_{R2} と物体光 κ_{S2} 、参照光 κ_{R3} と物体光 κ_{S3} によって記録されるホログラムの格子ベクトル K

、 K_2 、 K_3 は全て等しいベクトルである。したがって、どの参照光と物体光とを組み合わせて用いても、同じホログラムが記録もしくは再生される。これは、参照光の波長 λ （ $\lambda = 2\pi/\kappa$ ）が変化しても、それを補正するように参照光ベクトルの方向が変化しているからである。

【0031】図5においては、各波長の波数ベクトルを同心円上に表しているが、図6に示すように、各波長の格子ベクトルが一致するように書き直すこともできる。

10 すなわち、この図6においては、参照光 κ_{R1} と κ_{S1} で記録した格子ベクトルKを異なる波長で再生する場合、もしくは、記録の途中で波長変動があった場合、参照光は κ'_{R1} （ $\Delta\lambda < 0$ ）もしくは κ'_{R2} （ $\Delta\lambda < 0$ ）に変化する。これによって、位相不整合 $\Delta\alpha$ 、 $\Delta\beta$ がそれぞれ発生する。そこで、参照光の波数ベクトルの方向を変化させて、それぞれ κ_{R1} （ $\Delta\lambda < 0$ ）、もしくは、 κ_{R2} （ $\Delta\lambda < 0$ ）とすれば、格子ベクトルと位相整合を取ることが出来る。

【0032】この手法を用いた回折効率の測定では、記録と再生に用いるレーザはどちらも波長が安定なガスレーザや固体レーザの高調波であった。よく用いられるのは、アルゴンレーザ（488 nm）で記録し、ヘリウムネオンレーザ（633 nm）で再生するという組み合わせであった。しかし、情報を記録するために、ホログラムを多重記録しようとすると、2波長に対してそれぞれ独立に角度もしくは波長を変化させなければならない。また、空間変調器を用いた実際の物体光は、平面波ではなく、角度の広がりを持つため、別の大きく異なる波長を用いた場合には、物体光の全ての光線について位相整合をとることが出来ないので、記録情報の一部のみが再生される。

【0033】したがって、通常は、情報を記録したホログラムを異なる波長で再生することは困難である。そこで、薄い記録材料にイメージホログラムとして記録することが提案されているが、イメージホログラムとして記録すれば、ホログラムの記録媒体によって球面収差が生じるため、空間変調器のピクセルサイズが大きくなることや、記録媒体が薄くなるために記録容量が制限されることなどの問題があった（Ernest Chuang and Demetri Psaltis, "Storage of 1000 holograms with use of a dual-wavelength method," Applied Optics, Vol.36, N 0.32, pp.8445-8454）。

【0034】【ホログラム記録時の位相ロッキング】ホログラムの記録時に外乱や屈折率変化の累積等により、後から書き込まれるホログラムの干渉縞の空間的位相がずれることがある。空間的な位相がずれれば、ホログラムの記録速度は低下する。もし、空間周波数の位相が $\pi/2$ ずれれば、以前に書き込まれたホログラムを消去してしまうことになる。

50 【0035】これを解決するために、能動的なロッキン

グをかけることが提案されている ("Avoiding hologram bending in photorefractive crystals," A.A.freschi et al. Optics Letters, Vol.21, No.2, pp.152, 1996, "Incremental holographic recording in lithium niobate with active phase locking," K.Peithmann et al. Optics Letters, Vol.23, No.24, pp.1927, 1998)。ここでは、ピエゾ素子にミラーをマウントして微小な震動を与え、検出された回折光が増加する方向に光路長を微小に変化させて、記録されるホログラムの干渉縞の位相を制御することで、安定なホログラムの記録を実現している。

【0036】本発明は、上述の実情に鑑みて提案されるものであって、温度やモードホップによる波長変動やスペクトル幅が広い半導体レーザなどの小型のレーザを用いて、ホログラムの記録再生ができるようになされたホログラム記録再生装置を提供しようとするものである。

【0037】

【課題を解決するための手段】本発明は、光源からの光束をホログラム記録媒体に参照光として照射するとともに、該半導体レーザからの光束を空間変調器を介して該ホログラム記録媒体に物体光として照射し、これら参照光及び物体光の干渉縞を該ホログラム記録媒体に記録するホログラム記録再生装置において、光源からの光束について角度位相不整合を生じさせる角度位相不整合手段を設け、角度位相不整合手段が発生させる角度位相不整合により、光源からの光束の波長分散もしくは波長変動による位相不整合量を相殺することを特長とする。

【0038】

【発明の実施の形態】以下、本発明の実施の形態を図面を参照しながら説明する。

【0039】

本発明に係るホログラム記録再生装置は、*

$$\frac{d\theta}{d\lambda} = \frac{1}{d \cdot \cos \theta} = \frac{1}{\sqrt{d^2 - \lambda^2}}$$

… (8)

【0045】ここで、 d は回折格子の一周期、 θ は回折角、 λ は波長である。回折格子として高い効率を得るには、三角波形状のブレーブスドグレーティングを用いることが望ましい。ここでは、1次の回折光を考えたが、高次の回折光を用いてもよい。しかし、回折効率の高いブレーブスドグレーティングの多くは1次光を利用しているので、以下1次光について論じる。

$$\Delta\alpha_\lambda + \Delta\alpha_\theta = \Delta\alpha_\lambda + \frac{\Delta\alpha_\theta}{\Delta\theta} \cdot \frac{\Delta\theta}{\Delta\lambda} \cdot \Delta\lambda = 0$$

… (9)

【0048】これに、【数1】、【数2】、【数6】、【数8】を代入し、以下の【数10】を得る。

$$d = 4 \cdot n_0 \cdot \sin \theta_s \cdot \frac{\Lambda^2}{\lambda} = 2 \cdot n_0 \cdot \Lambda$$

… (10)

【0050】前述の、波長 532 nm で、常光線に対して屈折率が約 2.2 の鉄ドーピニオブ酸リチウム結晶に、参照光と物体光が直交するような配置 (θ_1 、 θ_2 = 50

* 光源として半導体レーザを用い、この半導体レーザからの光束をホログラム記録媒体に参照光として照射するとともに、該半導体レーザからの光束を空間変調器を介して該ホログラム記録媒体に物体光として照射し、これら参照光及び物体光の干渉縞を該ホログラム記録媒体に記録するものである。そして、本発明に係るホログラム記録再生装置は、半導体レーザの発振波長変動による影響を回避することにより、良好な多重記録を行うものである。

10 【0040】半導体レーザなどの波長変動を角度で補正しようとするには、分光器などの波長検出手段で波長を検出し、ガルバノミラーや電気光学偏向器、音響光学偏向器などの角度偏向手段を用いて、検出された波長に応じた角度の偏向を行うことが考えられる。しかし、これは装置が著しく複雑になるため、実用的ではない。また、波長変動が高速で起こる場合には、応答が困難である。

【0041】したがって、本発明においては、能動的な補正ではなく、受動的な補正手段が望ましい。そこで、本発明においては、まず、波長変動に対する受動的な補正手段を与える。

【0042】【位相整合補正の原理】受動的な補正を行うには、波長変動により生じる位相不整合と等しい量で逆の符号の角度位相不整合を発生させる角度分散を持つ光学素子を用いればよい。このような光学素子として、回折格子を用いることが考えられる。

【0043】回折格子の波長分散は、1次の回折光に対して、次式【数8】で与えられる。

【0044】

【数8】

※ 【0046】レーザの波長変動によって生じるホログラムの位相不整合を $\Delta\alpha_\lambda$ 、参照光の角度変動によって生じるホログラムの位相不整合を $\Delta\alpha_\theta$ とすれば、位相整合が波長変動 $\Delta\lambda$ に対して補正されるには、以下の【数9】が満たされなければならない。

【0047】

【数9】

… (9)

★ 【0049】
★ 【数10】

… (10)

45°) でホログラムを記録する場合について計算すれば、補正用回折格子の一周期は、1.65 μm、すなわち、約 600 本/mm のピッチとなる。これは、市販の

反射型回折格子として、容易に入手可能なピッチの回折格子である。

【0051】〔補正の実施例〕本発明に係るホログラム記録再生装置は、上記のような条件を満たす回折格子を用いたホログラム記録再生装置であって、図1に示すように、光源として、单一モードで発振する半導体レーザ1を備えて構成される。半導体レーザ1からの出射光は、コリメータレンズ2で平行光束となされて、反射型回折格子3に入射される。この反射型回折格子3により回折された1次光は、ビームスプリッタ4に入射され、参照光と物体光とに分岐される。参照光及び物体光は、それぞれミラー5、6により反射された後、ホログラム記録媒体7に入射する。ホログラム記録媒体7には、参照光及び物体光の干渉縞が、ホログラムとして記録される。ここで、反射型回折格子3は物体光及び参照光の分岐点よりも半導体レーザ1側に置かれており、該物体光及び参照光の光路は、互いに対称で光路長は等しい。

【0052】再生時には、これら参照光及び物体光のうちの一方のみをホログラム記録媒体7に照射すれば、他方のビームが再現される。

【0053】ここで、半導体レーザ1からの出射光の波長が変化すると、回折格子により回折光の方向が変化する。したがって、ホログラム記録媒体7への物体光と参照光の入射角度が変化する。回折格子のピッチが〔数9〕を満たすように設計されていれば、波長変動に対して記録もしくは再生されるホログラムの格子ベクトルは不变である。よって、半導体レーザ1からの出射光の波長変動に対して、受動的な補正が実現される。

【0054】波長に応じて角度分散を発生させる光学素子としては、プリズムなど、他のものを用いることも可能である。しかし、回折格子を用いることが最も実用的である。なぜなら、プリズムなどの屈折を利用した分散素子に比べて、回折の分散のほうがはるかに大きいからである。しかし、精密な制御を行うためなどの目的においては、プリズムなどの素子を用いてもよいし、また、複数個を組み合わせて使用してもよい。

【0055】ホログラムの多重記録を行う場合には、図2に示すように、物体として空間変調器17が用いられ、角度多重記録方式を採用する場合には、参照光の角度を変化するために音響光学偏向器やガルバノミラーなどのビーム偏向手段を用いる。

【0056】このホログラム記録再生装置においては、单一モードで発振する半導体レーザ1からの出射光は、コリメータレンズ2で平行光束とされ、ビームスプリッタ4で参照光及び物体光に分岐される。ビームスプリッタ4を透過した参照光は、回転機構が設けられた反射型回折格子8で回折され、その1次回折光が2つの集光レンズ9、10からなるビームエキスパンダによりビーム径を拡大される。ビームエキスパンダを経た参照光は、アパーチャ11で周辺側の余分な部分を遮光されて、ホ

ログラム記録媒体7へ入射される。ここで、回転機構を用いて反射型回折格子8を回転させ、参照光の方向を変化させて、ホログラム毎に異なる入射角度の参照光を用いれば、角度多重記録ができる。さらに、ホログラム記録媒体7を透過した参照光は、検出手段となるフォトディテクタ12により受光される。

【0057】一方、ビームスプリッタ4で反射された物体光は、2つの集光レンズ15、16からなるビームエキスパンダによりビーム径を拡大され、角度位相不整合手段となる反射型回折格子14で回折された後、空間変調器17に入射される。空間変調器17を透過した物体光は、フーリエ変換レンズ18によりフーリエ変換されて、ホログラム記録媒体7に入射する。このホログラム記録媒体7においては、参照光と物体光との干渉縞が、ホログラムとして記録される。

【0058】物体光を回折させる反射型回折格子14は、アクチュエータ21にマウントされており、微小な振れ角で振動させることができる。この反射型回折格子14の振動により、フォトディテクタ12により検出される参照光信号に変化が生ずる。フォトディテクタ12の検出信号は、位相補正手段となるフィードバック信号処理回路13に送られる。フィードバック信号処理回路13は、フォトディテクタ12より送られる信号に応じて、アクチュエータ21を制御し、反射型回折格子14を位置決めし、ホログラムの位相を制御する。

【0059】再生時は、参照光のみを照射し、記録時の物体光を再現する。このようにして再現された物体光は、集光レンズ19を介して、固体撮像素子(CCD)20などの受光アレイ素子により受光される。

【0060】ところで、このホログラム記録再生装置においては、デバイスに合わせてビーム径を拡大もしくは縮小する必要がある。ラグランジェヘルムホルツの法則より、光線高と光線角度の積は一定である。したがって、ビーム径が変化すれば、ビームの偏向角度も変化する。そのため、物体光と参照光に対して、それぞれ別個の回折格子を用いて、それぞれのピッチを独立に設計する必要がある。この場合も、上述の条件がそれぞれの光束に対して満たされるようにすれば、同様に波長変動に対して位相整合を補正することができる。

【0061】図2に示したようなホログラム記録再生装置では、物体光の角度広がりが生じる。図2に示したホログラム記録再生装置では、フーリエ変換レンズ18を用いて、フーリエホログラムとしてホログラムを記録している。また、空間変調器17を用いていることで、この空間変調器17のピクセルによる回折が生じることによっても、物体光は広がりを持つ。また、空間的なスペクトルを広げて記録材料のダイナミックレンジを有効活用する目的で、ランダム位相プレートなどを物体照射光に用いる場合にも、物体光の角度分布は広がることになる。

【0062】実際の設計においては、これらの要因と光源である半導体レーザの波長変動範囲を考慮する必要がある。前記の論文 (Ernest Chuang and Demetri Psaltis, "Storage of 1000 holograms with use of a dual-wavelength method," *Applied Optics*, Vol.36, No.32, p.8445-8454) でも示されているように、波長488nmの参照光を用いて記録したホログラムを波長633nmの参照光で再生した場合、物体光の一部のみしか再現されない。しかし、本発明で主に考えている半導体レーザの波長変動は数nm程度と微小であり、補正は十分可能である。

【0063】また、ホログラムの格子ベクトル、すなわち干渉縞の空間周波数が同じ場合においても、記録時には、空間的な位相がずれれば、ホログラムの記録速度は低下する。もし、空間周波数の位相が $\pi/2$ ずれれば、以前に書込まれたホログラムを消去してしまうことになる。そこで、前述の論文 ("Avoiding hologram bending in photorefractive crystals," A.A.freschi et al. *Optics Letters*, Vol.21, No.2, pp.152, 1996, "Incremental holographic recording in lithium niobate with active phase locking," K.Peithmann et al. *Optics Letters*, Vol.23, No.24, pp.1927, 1998) に述べられていると同様に、位相に対するフィードバック信号とアクチュエータを用いた回折格子の位置決め（ロッキング）が有効である。

【0064】回折格子の位置決めを行うためのデバイスとしては、ピエゾ素子を用いることもできる。しかし、ピエゾ素子の駆動には、高電圧が必要になるため、実用上の問題がある。電気光学結晶を用いた位相変調機を用いることも可能である。しかし、電気光学結晶は、ピエゾ素子と同様に駆動には高電圧が必要であり、さらに、アパーチャにビームを集光する必要があるため、光学系の複雑化を招く。そこで、ピエゾ素子の代わりに、ボイスコイルモーターを用いることもできる。ボイスコイルモーターは、光ディスク再生装置のピックアップなどにも用いられているように、低価格であり、駆動に高電圧を必要としない。また、サーボ制御でサブオングストロームのレベルまで制御できることが実証されている。さらに、低周波のバイアス成分の位相を制御するためには、同様に高電圧を必要としない液晶セルをボイスコイルモーターに併せて用いることもできる。

【0065】【本発明の適用範囲】ここまで、ホログラムの記録多重方式としては、角度多重記録方式について述べている。しかし、本発明の手法をその他の多重方式、例えば、位相コード、シフト、フラクタル、ペリストロフィック、スペックルなどに用いることも可能である。ホログラムには多くのタイプがあるが、本発明の手法は、体積型のホログラム一般に適用する事ができる。

【0066】また、ホログラム記録材料としては、上述の実施の形態では、鉄ドープニオブ酸リチウム結晶につ

いて述べているが、その他のフォトリフラクティブ結晶やフォトポリマーなどのホログラム記録材料であってもよい。また、ホログラム記録媒体には、熱定着、電界定着、化学的処理などの安定化処理を施してもよいし、2光子吸収や2波長増感記録などの手法を用いる場合に適用することも可能である。

【0067】さらに、本発明では、光源として半導体レーザを用いることを主に想定しているが、Ti:SapphireやNd:YAGなどの固体レーザ、Arレーザなどのガスレーザ、色素レーザなど、他のレーザ、もしくは、その高調波に対して、本発明の手法を適用することもできる。半導体レーザとしては、記録材料の感度の高さから、InGaN系半導体レーザは特に有効である。

【0068】そして、本発明の記録再生装置もしくは方法によるホログラムは、メモリーだけではなく、光コンピューティング、連想記憶、画像表示、画像出力装置、干渉計、計測装置など多岐にわたる応用用途がある。

【0069】

20 【発明の効果】上述のように、本発明は、光源からの光束をホログラム記録媒体に参照光として照射するとともに、該半導体レーザからの光束を空間変調器を介して該ホログラム記録媒体に物体光として照射し、これら参照光及び物体光の干渉縞を該ホログラム記録媒体に記録するホログラム記録再生装置において、光源からの光束について角度位相不整合を生じさせる角度位相不整合手段を設け、角度位相不整合手段が発生させる角度位相不整合により、光源からの光束の波長分散もしくは波長変動による位相不整合量を相殺する。

30 【0070】すなわち、本発明は、温度やモードホップによる波長変動やスペクトル幅が広い半導体レーザなどの小型のレーザを用いて、良好にホログラムの記録再生ができるようになされたホログラム記録再生装置を提供することができるものである。

【0071】半導体レーザは動作寿命も長く信頼性が高いので、装置の寿命や信頼性を向上させることができ、また、回折格子などの分散素子を追加するだけの簡単な構成で実現することができる。さらに、気体レーザや固体レーザを使用する場合に比して、作製コストを下げることができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明に係るホログラム記録再生装置の原理的構成を示す側面図である。

【図2】上記ホログラム記録再生装置の構成を示す側面図である。

【図3】ホログラム再生時に生ずる角度位相不整合の状態を示すグラフである。

【図4】ホログラム再生時に生ずる波度位相不整合の状態を示すグラフである。

50 【図5】異なる波長に対して等しい格子ベクトルを形成

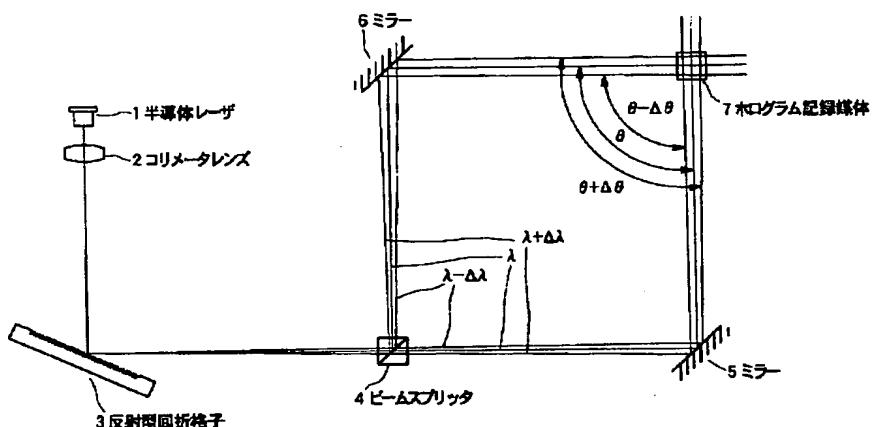
する参照光と物体光との組を示すグラフである。

【図6】異なる波長に対して等しい格子ベクトルを形成する参照光と物体光との組を各波長の格子ベクトルを一致させて示すグラフである。

* 【符号の説明】

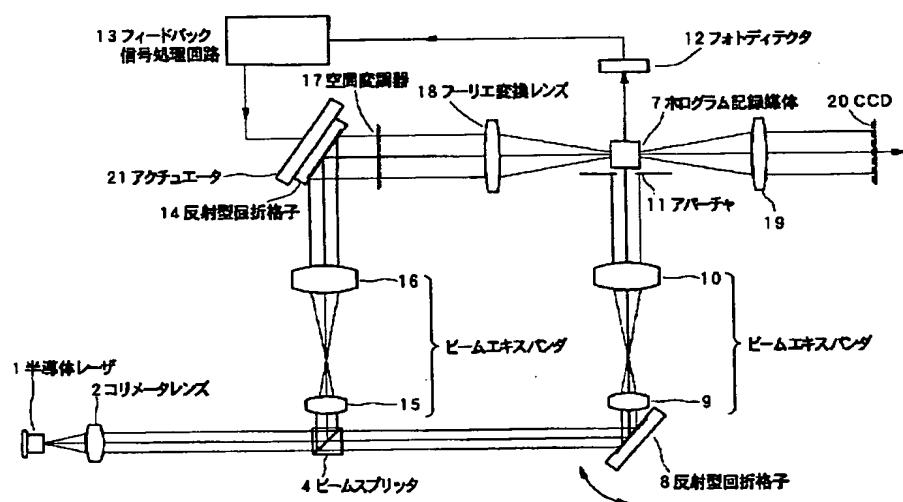
- 1 半導体レーザ、7 ホログラム記録媒体、3, 8, 14 反射型回折格子、12 フォトディテクタ、13 フィードバック信号処理回路

【図1】



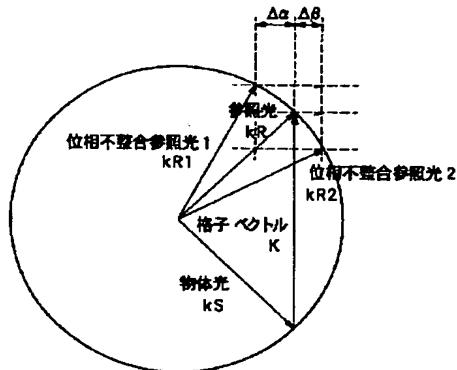
回折格子を用いた半導体レーザーを光源とするホログラム多層記録再生装置概念図

【図2】



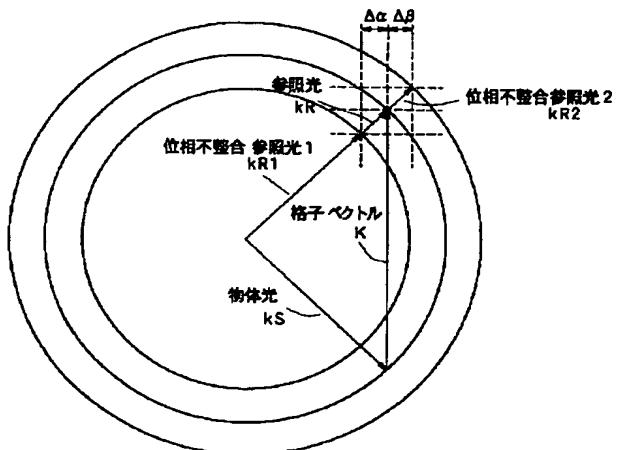
回折格子を用いた半導体レーザーを光源とするホログラム多層記録再生装置

【図3】



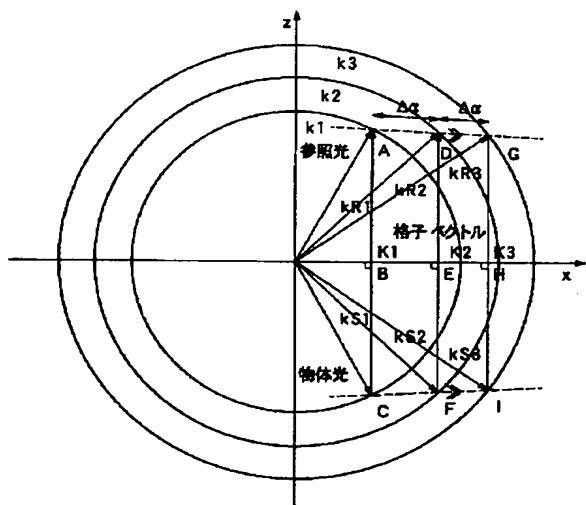
ホログラム再生時の角度位相不整合

【図4】



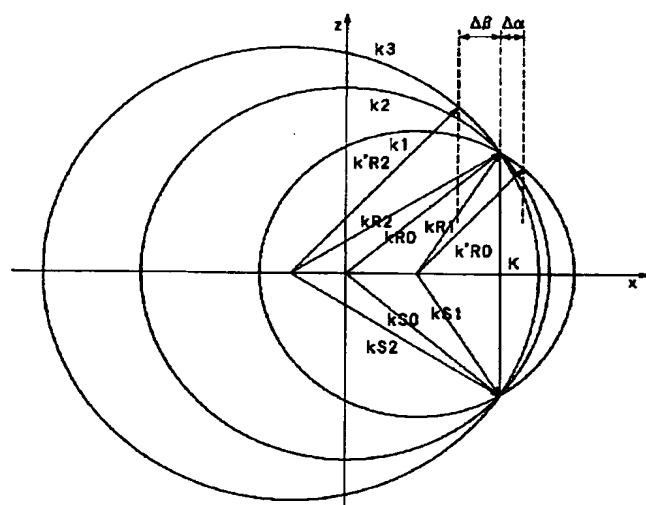
ホログラム再生時の波長位相不整合

【図5】



異なる波長に対して等しい格子ベクトルを形成する参照光と物体光の組

【図6】



異なる波長に対して等しい格子ベクトルを形成する参照光と物体光の組